

PC10738

**Elektrohydraulische Bremsanlage für Kraftfahrzeuge**

Die Erfindung betrifft eine Bremsanlage für Kraftfahrzeuge, die in einer Betriebsart „Brake-by-Wire“ betrieben werden kann, mit:

einem Hauptzylinder, an den Radbremszylinder anschließbar sind,  
einem ersten Kolben, der mit einem Bremspedal gekoppelt ist,  
einem zweiten Kolben, der den Hauptzylinder betätigt,  
einem dritten Kolben, der vom ersten Kolben betätigbar ist, wobei zwischen dem ersten und dem dritten Kolben mindestens eine Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung vorgesehen ist, die in der by-Wire-Betriebsart dem Fahrzeugführer ein komfortables Pedalgefühl vermittelt, und alle drei Kolben sowie die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung in einem Gehäuse angeordnet sind,  
mit einer hydraulischen Druckquelle sowie einer Ventileinrichtung zum Reduzieren des Drucks der Druckquelle auf einen Wert, mit dem der zweite Kolben beaufschlagbar ist,  
wobei der zweite und der dritte Kolben durch einen Zwischenraum derart voneinander getrennt sind, dass der dritte Kolben durch den auf den zweiten Kolben wirkenden Druck in der der Beaufschlagungsrichtung des zweiten Kolbens entgegengesetzten Richtung beaufschlagt wird.

In der Kraftfahrzeugtechnik finden Brake-by-Wire-Bremsysteme eine immer größere Verbreitung. Bei diesen Bremssystemen kann die Bremse auch ohne aktives Zutun des Fahrers aufgrund elektronischer Signale „fremd-“ betätigt werden. Diese elektronischen Signale können beispielsweise von einem elektronischen Stabilitätsprogramm ESP oder einem Abstandsregelsystem ACC ausgegeben werden. Kommt es zu einer Überlagerung einer derartigen Fremdbetätigung mit einer Fahrerbetätigung, so spürt der Fahrer des Kraftfahrzeugs eine Rückwirkung im Bremspedal in Form einer Abweichung von der gewohnten Pedalcharakteristik. Dieser Rückwirkungseffekt auf das Bremspedal kann einerseits für den Fahrer ungewohnt und unangenehm sein, so dass der Fahrer in einer kritischen Situation des Straßenverkehrs das Bremspedal nicht so stark betätigt wie es in dieser Situation notwendig wäre, da er durch die von der Fremdbetätigung der Bremse verursachte Störung der Bremspedalcharakteristik irritiert wird, andererseits erhält der Fahrer bei ABS- und ESP- Regelaktivitäten eine haptische Rückmeldung durch Bremspedalvibrationen. Wünschenswert wäre eine vollständige Vermeidung von Störungen der Bremspedalcharakteristik und gegenüber dem Stand konventioneller Bremssysteme reduzierte, elektronisch steuerbare Pedalvibrationen.

Die EP 1 078 833 A1 beschreibt eine elektrohydraulische Bremsanlage der eingangs genannten Gattung. Durch die besondere Anordnung der Kolben wird eine Entkopplung des Bremspedals von den genannten hydraulischen Komponenten erreicht, so dass der vorhin erwähnte Rückwirkungseffekt weitestgehend eliminiert werden kann. Als weniger vorteilhaft ist bei der vorbekannten Bremsanlage die Tatsache anzusehen, dass die Bremspedalcharakteristik in der „Brake-by-wire,-Betriebsart durch die Eigenschaften der

die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung bildenden passiven elastischen und dämpfenden Elemente fest vorgegeben ist und keine haptische Rückmeldung des Bremssystems an den Fahrerfuß erlaubt.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Bremsanlage der eingangs genannten Gattung anzugeben, bei der ein aktiver Eingriff in die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung im Sinne der oben genannten haptischen Rückmeldung möglich ist. Außerdem soll die Bremsanlage einen einfachen Aufbau aufweisen und kostengünstig herstellbar sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine Einrichtung vorgesehen ist, die durch ventilgesteuerte Änderung des Druckmittelvolumens in der hydraulischen Kammer ein von der durch die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung vorgegebenen Bremspedalcharakteristik abweichendes, elektronisch steuerbares Pedalverhalten ermöglicht. Die Einrichtung ist dabei vorzugsweise durch die elektrische Steuer- und Regeleinheit steuerbar.

Zur Konkretisierung des Erfindungsgedankens ist bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Erfindungsgegenstandes vorgesehen, dass die elektrisch steuerbare Einrichtung durch ein in einer ersten Verbindung zwischen der hydraulischen Kammer und einem drucklosen Druckmittelvorratsbehälter eingefügtes, elektromagnetisch schaltbares erstes 2/2-Wegeventil, ein in einer zweiten Verbindung zwischen der hydraulischen Kammer und dem drucklosen Druckmittelvorratsbehälter eingefügtes, elektromagnetisch schaltbares zweites 2/2-Wegeventil, sowie

ein elektromagnetisch schaltbares drittes 2/2-Wegeventil gebildet ist, welches in einer zur Druckquelle hin führenden Leitung eingefügt ist.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Erfindungsgegenstandes sind in den Unteransprüchen 4 bis 15 aufgeführt.

Im Folgenden wird die Erfindung am Beispiel einer Ausführungsform unter Bezugnahme auf die beiliegenden schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 den Aufbau der erfindungsgemäßen Bremsanlage gemäß einer ersten Ausführungsform im Ruhezustand,

Fig. 2 eine alternative Ausführung einer Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung, die bei der Bremsanlage gemäß Fig. 1 Verwendung finden kann.

Figur 1 zeigt die erfindungsgemäße Bremsanlage im Ruhezustand. Die Bremsanlage weist ein Bremspedal 3 auf, das über eine Betätigungsstange 38 mit einem ersten Kolben 2 fest verbunden ist. Der Bremspedalweg kann mittels eines Wegsensors 17 erfasst werden. Der erste Kolben 2 ist in einem dritten Kolben 5 angeordnet, wobei zwischen dem ersten und dem dritten Kolben eine hydraulische Kammer 21 angeordnet ist, in der elastische Elemente 6, 7, angeordnet sind die auf den ersten und dritten Kolben Kräfte ausüben und zusammen mit nicht gezeigten Dämpfungs- und/oder Reibelementen eine Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung bilden, die eine Simulatorkraft zwischen dem ersten (2) und dem dritten Kolben 5 bewirkt.

Weiterhin ist ein zweiter Kolben 4 vorgesehen, der einem Hauptzylinder 1 zugeordnet ist und darin einen Druckaufbau ermöglicht. Der Hauptzylinder 1 ist über eine lediglich schematisch angedeutete elektrohydraulische Regel- bzw. Steuereinheit 28 eines Blockierschutzregelsystems (ABS) an nicht gezeigte Radbremsen des Fahrzeuges angeschlossen.

Der erste (2), der zweite (4) und der dritte Kolben 5 sind in einem Gehäuse 8 untergebracht. Zwischen dem dritten Kolben 5 und dem zweiten Kolben 4 befindet sich ein Zwischenraum 11, der mit Druckmittel befüllbar ist.

Bei Betätigung des Bremspedals 3 bewegt der Fahrer den ersten Kolben 2 entgegen der Simulatorkraft, die von den Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung erzeugt wird. Die in der Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung enthaltenen passiven elastischen (6, 7) und reibenden beziehungsweise dämpfenden Elemente sind so ausgeführt, dass sie dem Fahrer das Bremsgefühl vermitteln, das einer gewöhnlichen Bremspedalcharakteristik entspricht. Dies bedeutet, dass bei geringem Bremspedalweg der die Pedalkraft zunächst auf einen Anfangswert springt, bei weiterem Pedalweg zunächst langsam ansteigt und dann bei größerem Bremspedalweg überproportional zunimmt.

Bei Betätigung des Bremspedals wird der Druck im Zwischenraum 11 in einem hydraulisch geregelten Betriebsmodus mit Hilfe einer ersten Ventileinrichtung so gesteuert, dass der dritte Kolben 5 in unmittelbarer Nähe eines Anschlags 35 im Gehäuse 8 bleibt und in einem bevorzugten „By-Wire“ Betriebsmodus mit Hilfe einer zweiten Ventileinrichtung so, dass der dritte Kolben 5 in Anlage an

dem Anschlag 35 im Gehäuse 8 bleibt. Der „By-Wire“-Betriebsmodus umfasst sowohl vom Fahrer durch ein Niederdrücken des Bremspedals ausgelöste, als auch autonome, das heißt elektronisch gesteuerte, ohne Zutun des Fahrers eingeleitete Bremsungen sowie deren Überlagerungen. Im erstgenannten Betriebsmodus sind Pedalbewegung und Pedalkraft weitgehend, im zweiten Betriebsmodus vollständig entkoppelt vom Betätigungsztand des Hauptzylinders 1. Druckpulsationen im Hauptzylinder 1, die bei ABS- und ESP-Regelvorgängen auftreten, können im Gegensatz zu herkömmlichen Bremsanlagen wegen dieser Entkopplung nicht an das Bremspedal gelangen.

Im hydraulisch geregelten Betriebsmodus kann durch Betätigen des Bremspedals 3 und den damit verbundenen Aufbau einer Simulatorkraft der dritte Kolben 5 in Richtung des zweiten Kolbens 4 bewegt werden, wodurch bereits nach einem sehr geringen Verfahrweg eine Ventileinrichtung 10 betätigt wird. Die Ventileinrichtung 10 ist im dargestellten Beispiel als ein hydromechanisches Verstärkerventil ausgebildet, das einen Ventilkörper 13 aufweist, der mittels einer Feder 32 in Richtung auf den zweiten Kolben 4 zu vorgespannt wird und zwei Steuerkanten aufweist, deren Aufgabe im nachfolgenden Text erläutert wird. Eine hydraulische Verbindung 12 ermöglicht ein Beaufschlagen der dem Zwischenraum 11 abgewandten Stirnfläche des Ventilkörpers 13 mit dem im Zwischenraum 11 eingesteuerten Druck. Der Ventilkörper 13 wirkt dabei mit einem Betätigungslement zusammen, das im dargestellten Beispiel als ein am dritten Kolben 5 angeformter radialer Vorsprung 14 ausgebildet ist. Bewegt sich der dritte Kolben 5 ein wenig in Richtung des zweiten Kolbens 4, so folgt der Ventilkörper 13 seiner Bewegung so lange, bis eine Verbindung zwischen dem Zwischenraum 11 und einer

hydraulischen Druckquelle 9 hergestellt wird. Diese Verbindung wird dadurch hergestellt, dass die in der Zeichnung rechte Steuerkante des Ventilkörpers 13 den Strömungsweg zwischen einer von der Druckquelle 9 führenden hydraulischen Druckleitung 23 bzw. einem von dieser abzweigenden Leitungsabschnitt 34 und einem im Zwischenraum 11 mündenden Druckmittelkanal 35 freigibt. Die hydraulische Druckquelle 9 wird vorzugsweise durch einen Hochdruckspeicher 19 gebildet, der durch ein Motor-Pumpen-Aggregat 20 aufgeladen wird. Das Motor-Pumpen-Aggregat 20 besteht aus einem Elektromotor 26 sowie einer hydraulischen Pumpe 27, deren Saugseite an einen drucklosen Druckmittelvorratsbehälter 22 angeschlossen ist, während ihre Druckseite über die vorhin genannte Leitung 23 mit dem Hochdruckspeicher 19 in Verbindung steht. In der Leitung 23 ist ein zum Hochdruckspeicher 19 hin öffnendes Rückschlagventil 24 eingefügt, wobei ein Drucksensor 39 die Überwachung des Ladezustands des Hochdruckspeichers 19 ermöglicht. Der Hochdruckspeicher 19 unterstützt die Pumpe 27 vor allem in den Fällen, in denen beispielsweise bei einer schnellen Vollbremsung in kurzer Zeit Druck aufgebaut werden muss, den die Pumpe 27 aufgrund ihrer Massenträgheit nicht sofort bereitstellen kann. Mittels der Verbindung zwischen dem Hochdruckspeicher 19 und dem Zwischenraum 11 wird dieser mit Druck beaufschlagt, wodurch der zweite Kolben 4 im Hauptzylinder 1 Druck aufbaut und der dritte Kolben 5 in Richtung eines Anschlags 35 im Gehäuse 8 gedrückt wird, an dem er vor dem Betätigen der Bremse anlag. Ein an den Hochdruckspeicher 19 angeschlossenes Ventil 15, ein Druckaufbauventil, ist im unbestromten Zustand geschlossen, während ein in den Druckmittelkanal 34 eingefügtes Trennventil 16, in der dargestellten Ausführungsform ein Trennventil, im unbestromten Zustand geöffnet ist, so dass die Pumpe 27 beziehungsweise der

Hochdruckspeicher 19 den Zwischenraum 11 über die vorhin erläuterte Verbindung mit Druck beaufschlagen kann. Ein Drucksensor 18 kann den in dem Zwischenraum 11 eingesteuerten Druck erfassen. Durch Bestromen des Trennventils 16 kann ein Abfließen von Druckmittel aus dem Zwischenraum 11 über die Ventileinrichtung 10 unterbunden werden, während durch Bestromen des Druckaufbauventils 15 dem Zwischenraum 11 Druckmittel zugeführt werden kann.

Im unbetätigten Zustand des Bremspedals 3 wird der erste Kolben 2 über die elastischen Elemente 6 und 7 gegen einen Anschlag 37 angedrückt, der im dritten Kolben 5 ausgebildet ist. Die elastischen Elemente 6, 7, die die vorhin erwähnte Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung bilden, sind im dargestellten Beispiel in einer vom ersten (2) und dritten Kolben 5 begrenzten hydraulischen Kammer 21 angeordnet, die einerseits mit dem Druckmittelvorratsbehälter 22 und andererseits mit der Druckquelle 9 bzw. dem Hochdruckspeicher 19 verbindbar ist. In der ersten Verbindung 40 zwischen der hydraulischen Kammer 21 und dem Druckmittelvorratsbehälter 22, die durch eine Relativbewegung des dritten Kolbens 5 gegenüber dem Gehäuse 8 absperrbar ist, ist ein elektromagnetisch betätigbares, vorzugsweise stromlos offenes (SO-) 2/2-Wegeventil 29 eingefügt, wobei das Absperren der hydraulischen Kammer 21 dadurch erfolgt, dass die Mündung des im dritten Kolben 5 ausgebildeten Verbindungsabschnitts 40a eine im Gehäuse 8 unbeweglich angeordnete Dichtung 41 überfährt. In der zweiten Verbindung 42 zwischen der hydraulischen Kammer 21 und dem Druckmittelvorratsbehälter 22, die in der Betätigungsrichtung der Kolben 2, 5 hinter der Dichtung 41 an den Verbindungsabschnitt 40a angeschlossen ist, ist ein zweites elektromagnetisch

betätigbares, vorzugsweise stromlos geschlossenes (SG-) 2/2-Wegeventil 30 eingefügt, an dessen Eingangsanschluss gleichzeitig eine weitere hydraulische Leitung 43 angeschlossen ist, die zur Druckquelle 9 bzw. dem Hochdruckspeicher 19 führt. In der Leitung 43 sind ein drittes, elektromagnetisch betätigbares, vorzugsweise stromlos geschlossenes (SG-) 2/2-Wegeventil 31, sowie ein zum Hochdruckspeicher 19 hin schließendes Rückschlagventil 44 eingefügt sowie ein weiterer Drucksensor 32 angeschlossen, der der Ermittlung des in der hydraulischen Kammer 21 herrschenden Druckes dient. Außerdem kann an die Leitung 43 ein zweiter (Hilfs-) Hochdruckspeicher 33 angeschlossen sein. Das dritte 2/2-Wegeventil 31 sperrt in seiner ersten Schaltstellung die hydraulische Leitung 43 ab, während es in seiner zweiten Schaltstellung die Funktion eines zum Hochdruckspeicher 19 hin sperrenden Rückschlagventils erfüllt. Die vorhin erwähnten 2/-2-Wegeventile 29, 30, und 31 bilden eine elektrisch steuerbare Einrichtung, die in der Betriebsart „Brake-by-wire“, eine Änderung des Druckmittelvolumens in der hydraulischen Kammer 21 und damit ein von der durch die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung vorgegebenen Bremspedalcharakteristik abweichendes Pedalverhalten ermöglicht.

Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführung der Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung, bei der das elastische Element bzw. die Druckfeder 6 außerhalb der hydraulischen Kammer 21 angeordnet ist und somit „trocken“ bleibt.

Die im Zusammenhang mit der Zeichnung beschriebene erfindungsgemäße Bremsanlage kann selbstverständlich auch in anderen Betriebsarten betrieben werden. So wird in einer Betriebsart, die durch einen vom Fahrerwillen unabhängigen Bremsvorgang charakterisiert ist, der Betätigungsdruck im Zwischenraum 11 durch Ansteuern der zweiten Ventileinrichtung einem fortlaufend neu berechneten Solldruckwert nachgeführt. Dazu kann durch Bestromen des Trennventils 16 der Volumenstrom zur Ventileinrichtung 10 unterbunden werden, während die Möglichkeit des umgekehrten Volumenstroms von der ersten Ventileinrichtung 10 durch das Trennventil 16 zum Druckaufbau im Zwischenraum 11 erhalten bleibt. Über das Druckaufbauventil 15 kann elektronisch gesteuert ein höherer Betätigungsdruck eingestellt werden als der, den das hydromechanische Verstärkerventil, die Ventileinrichtung 10, vorgeben würde. Zum elektronisch gesteuerten Druckabbau wird die Bestromung des Trennventils 16 vorübergehend ausgesetzt, so dass Druckmittel zur Ventileinrichtung 10 abfließen kann, die in diesem Betriebszustand eine Verbindung zum Druckmittelvorratsbehälter 22 herstellt. Diese Verbindung kommt dadurch zustande, dass die in der Zeichnung linke Steuerkante des Ventilkörpers 13 den Strömungsweg zwischen dem Druckmittelkanal 45 und einer von der Ventileinrichtung 10 zum Druckmittelvorratsbehälter 10 führenden hydraulischen Verbindung 36 freigibt. Diese elektronische Bremsdruckregelung hat den Vorteil, dass ihr Übertragungsverhalten im Rahmen der durch die technischen Daten von Hochdruckspeicher, Druckaufbau- und Trennventil gegebenen Dynamik frei wählbar ist. Daher können eine sogenannte Springerfunktion, d.h. das Springen auf einen vorgegebenen Bremsdruckwert beim Antippen des Bremspedals

3, eine Bremsassistentenfunktion, eine Verzögerungsregelung und ein autonomes Bremsen, wie es beispielsweise für ASR (Antriebs-Schlupf-Regelung), ESP (Elektronisches Stabilitäts-Programm) und ACC (Adaptive Cruise Control) benötigt wird, durch Softwaremaßnahmen realisiert werden. Hierfür wird die Fahrervorgabe in Form einer Bremspedalbetätigung, die durch Weg-, Kraft- oder sonstige Sensoren erfasst wird, von der nicht dargestellten elektronischen Steuer- und Regeleinheit durch Anwendung geeigneter Algorithmen in Radbremsdrücke umgerechnet, die mit Hilfe der elektronisch schaltbaren Ventile im Fremdkraft-Bremsmodul und der nachgeschalteten ABS-Hydraulik realisiert werden.

In dem bereits erwähnten bevorzugten „Brake-by-wire,- Betriebsmodus, der durch einen vom Fahrer verzögerungswunsch eingeleiteten Fremdbremsvorgang charakterisiert ist, wird im Zwischenraum 11 durch eine entsprechende Ansteuerung der Ventile 15, 16 mittels der nicht dargestellten elektronischen Steuer- und Regeleinheit nach Maßgabe des Signals des den Fahrerwunsch erfassenden Wegsensors 17 ein hydraulischer Druck eingeregelt. Dieser Druck ist stets so bemessen, dass er ausreicht, um den dritten Kolben 5 an seinem Anschlag 35 in Gehäuse 8 zu halten. Dadurch ergibt sich eine Bremspedalcharakteristik d.h. ein durch mathematische Funktionen beschreibbarer Zusammenhang zwischen Bremspedalkraft, Bremspedalweg und Bremspedalgeschwindigkeit, in den der Betätigungsztand des Hauptzylinders 1 nicht eingeht. Die wesentlichen Parameter der Bremspedalcharakteristik sind die Steifigkeiten und Vorspannungen der elastischen Elemente 6 und 7. Eine haptische Rückmeldung über das Fahrerpedal kann durch ein elektronisch gesteuertes Abweichen von der durch

passive Elemente vorgegebenen Bremspedalcharakteristik erreicht werden. Dazu wird erfindungsgemäß mit Hilfe von elektrisch steuerbaren Ventilen 29, 30, 31 das Druckmittelvolumen in der hydraulischen Kammer 21 gesteuert, wobei die ansonsten offene hydraulische Verbindung 40 zwischen der hydraulischen Kammer 21 und dem Vorratsbehälter 22 abgesperrt wird. Zum Beenden einer Betriebsphase der Bremsanlage mit abweichender Bremspedalcharakteristik wird einfach die Verbindung 40 wieder freigegeben. Der Ventilschaltvorgänge zur Überlagerung der vorgegebenen Bremspedalcharakteristik (Force Feedback Pedal) werden im nachfolgenden Text genauer beschrieben.

Zum Zurückdrücken des Bremspedals 3 wird zunächst die erste Verbindung 40 der hydraulischen Kammer 21 mit dem Druckmittelvorratsbehälter 22 durch Umschalten des ersten 2/2-Wegeventils 29 abgesperrt. Dann wird die Kammer 21 durch geregeltes Öffnen des dritten 2/2-Wegeventils 31 mit einem hydraulischen Druck beaufschlagt, wodurch zusätzliches Druckmittel in die Kammer 21 strömt und das Pedal 3 zurückgedrückt wird. Durch Beobachtung des Drucks in der Kammer 21 mit Hilfe des Drucksensors 32 und der Bremspedalbewegung mit Hilfe des Wegsensors 17 kann der Fahrerwunsch trotz der zusätzlichen Rückstellkraft erfasst werden. Für einen aktiven Abbau des in die Kammer 21 eingebrachten Druckmittelzusatzvolumens wird das erste 2/2-Wegeventil 29 geschlossen gehalten und das Druckmittelvolumen durch Öffnen des zweiten 2/2-Wegeventils 30 in den Druckmittelvorratsbehälter 22 abgelassen. Durch ein Geschlossen Halten des Ventils 29 wird die vorhin erwähnte Dichtung 41 geschont, die von der Mündung des Verbindungsabschnitts 40a überfahren werden kann. Bei nicht mehr benötigter zusätzlicher Rückstellkraft wird nach

vollständigem Abbau des Druckmittelzusatzvolumens über das zweite 2/2-Wegeventils 30 die hydraulische Kammer 21 durch Öffnen des ersten 2/2-Wegeventils 29 wieder drucklos geschaltet. Dadurch folgt der Weg des Bremspedals 3 wieder der vorgegebenen passiven Bremspedalcharakteristik.

In einer dritten Betriebsart, die durch einen Ausfall der elektrischen Stromversorgung bzw. die sog. hydraulische Rückfallebene charakterisiert ist, bleiben die elektromagnetischen Ventile 15 und 16 unbestromt. Dadurch kann die Ventileinrichtung 10, das hydromechanische Verstärkerventil, den Betätigungsdruck im Zwischenraum 11 regeln und so eine Bremskraftverstärkung bewirken. Dabei wird der Druckaufbau durch das Zusammenwirken der in der Zeichnung rechten Steuerkante des Ventilkörpers 13 mit dem Leitungsabschnitt 34 geregelt, während der Druckabbau durch das Zusammenwirken der in der Zeichnung linken Steuerkante mit der hydraulischen Leitung 36 geregelt wird. Die hydraulische Verstärkung funktioniert ohne Elektrizität, solange der Hochdruckspeicher 19 unter Druck stehendes Druckmittel abgeben kann. Es liegt eine lineare Kraftverstärkung vor, deren Verstärkungsfaktor durch das Verhältnis der Querschnittsflächen von zweitem Kolben 4 zu drittem Kolben 5 fest vorgegeben ist.

In einer vierten Betriebsart, die durch das Fehlen eines hydraulischen Drucks im Druckspeicher 19 bzw. die sog. mechanische Rückfallebene charakterisiert ist, kann die Bremsanlage rein mechanisch betätigt werden, der dritte Kolben 5 bewegt sich unter der Wirkung einer am Bremspedal 3 eingeleiteten Betätigungs Kraft von seinem Anschlag 35 weg und verschiebt den zweiten Kolben 4 durch eine mechanische Kraftübertragung, so dass die Betätigung des Hauptzylinders 1 ausschließlich mit Muskelkraft erfolgt. Durch die

stattfindende Relativbewegung des dritten Kolbens 5 gegenüber dem Gehäuse 8 erfolgt eine Absperrung der oben erwähnten hydraulischen Kammer 21, indem die Mündung einer an die hydraulische Kammer 21 angeschlossenen Leitung 40 eine im Gehäuse 8 angeordnete, feststehende Dichtung 41 überfährt. Durch die Absperrung wird die Funktion der Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung 6,7 abgeschaltet, so dass eine direkte Kraftübertragung vom ersten (2) auf den dritten Kolben 5 statt findet.

Mit Hilfe des von der vorgegebenen Bremspedalcharakteristik abweichenden Pedalverhaltens können dem Fahrer über elektronisch gesteuerte Pedalvibrationen haptische Rückmeldung des Betriebszustands des Bremsenregelsystems gegeben werden. Dabei können diese Informationen über Frequenz und Intensität der Vibration quantifiziert werden. Weiterhin kann dem Fahrer durch ein elektronisch gesteuertes, temporäres Zurückdrücken des Bremspedals eine Rückmeldung gegeben werden, wenn eine ABS- beziehungsweise ESP-Regelung durchgeführt wird. Vorzugsweise werden diese absichtlichen Rückmeldungen in ihrer Intensität geringer gestaltet als die in herkömmlichen Bremsanlagen prinzipbedingt unvermeidbar starken und oft störenden oder irritierenden Pedalrückwirkungen.

Patentansprüche

1. Elektrohydraulische Bremsanlage für Kraftfahrzeuge, die in einer Betriebsart „Brake-by-Wire,“ sowohl vom Fahrzeugführer als auch unabhängig vom Fahrzeugführer ansteuerbar ist, mit
  - einem Hauptzylinder (1), an den Radbremszylinder anschließbar sind,
  - einem ersten Kolben (2), der mit einem Bremspedal (3) gekoppelt ist,
  - einem zweiten Kolben (4), der den Hauptzylinder (1) betätigt,
  - einem dritten Kolben (5), der vom ersten Kolben (2) betätigbar ist,wobei zwischen dem ersten (2) und dem dritten Kolben (5) mindestens eine Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung (6, 7) vorgesehen ist, die in der „Brake-by-Wire,-Betriebsart dem Fahrzeugführer ein komfortables Pedalgefühl vermittelt, zwischen dem ersten (2) und dem dritten Kolben (5) eine mit der Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung (6, 7) zusammenwirkende hydraulische Kammer (21) begrenzt ist und alle drei Kolben (2, 4, 5), sowie die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung (6, 7) in einem Gehäuse (8) angeordnet sind,

- einer mittels einer elektronischen Steuer- und Regeleinheit ansteuerbaren hydraulischen Druckquelle (9), sowie
- einer durch den dritten Kolben (5) betätigbaren Ventileinrichtung (10) zum Reduzieren des Drucks der Druckquelle (9) auf einen Wert, mit dem der zweite Kolben (4) beaufschlagbar ist,

wobei der zweite (4) und der dritte Kolben (5) durch einen Zwischenraum (11) derart voneinander getrennt sind, dass der dritte Kolben (5) durch den den zweiten Kolben (4) beaufschlagenden Druck in der der Beaufschlagungsrichtung des zweiten Kurbels (4) entgegengesetzten Richtung beaufschlagt wird, dadurch **gekennzeichnet**, dass eine Einrichtung (29 - 31, 45) vorgesehen ist, die durch elektromagnetventilgesteuerte Änderung des Druckmittelvolumens in der hydraulischen Kammer (21) ein von der durch die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung vorgegebenen Bremspedalcharakteristik abweichendes Pedalverhalten ermöglicht.

2. Bremsanlage nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Einrichtung (29-31) durch die elektronische Steuer- und Regeleinheit elektrisch steuerbar ist.
3. Bremsanlage nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass die elektrisch steuerbare Einrichtung durch ein in einer ersten Verbindung (40) zwischen der hydraulischen Kammer (21) und einem drucklosen

Druckmittelvorratsbehälter (22) eingefügtes, elektromagnetisch schaltbares erstes 2/2-Wegeventil (29), ein in einer zweiten Verbindung (42) zwischen der hydraulischen Kammer (21) und dem drucklosen Druckmittelvorratsbehälter (22) eingefügtes, elektromagnetisch schaltbares zweites 2/2-Wegeventil (30), sowie ein elektromagnetisch schaltbares drittes 2/2-Wegeventil (31) gebildet ist, welches in einer zur Druckquelle (9 bzw. 19) hin führenden Leitung (43) eingefügt ist.

4. Bremsanlage nach Anspruch 2 oder 3 dadurch **gekennzeichnet**, dass ein Drucksensor (32) zur Ermittlung des in der hydraulischen Kammer (21) herrschenden Druckes vorgesehen ist.
5. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass das erste 2/2-Wegeventil (29) als ein stromlos offenes (SO-) Ventil ausgebildet ist, während das zweite 2/2-Wegeventil (30) als ein stromlos geschlossenes (SG-) Ventil ausgebildet ist.
6. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass das dritte 2/2-Wegeventil (31) als ein stromlos geschlossenes (SG-) Ventil ausgebildet ist, welches in seiner ersten Schaltstellung die hydraulische Leitung (43) absperrt und in seiner zweiten Schaltstellung die Funktion eines zur Druckquelle (9 bzw. 19) hin schließenden Rückschlagventils erfüllt

7. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass ein Sensor (39) zum Überwachen des Ladezustands des Hochdruckspeichers (19) vorgesehen ist, dessen Ausgangssignal der elektronischen Steuereinheit zugeführt wird und der im Gehäuse (8) integriert oder formschlüssig mit diesem verbunden ist.
8. Bremsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass ein Drucksensor (18) zum Erfassen des im Zwischenraum (11) herrschenden Druckes vorgesehen ist, dessen Ausgangssignal der elektronischen Steuereinheit zugeführt wird und der im Gehäuse (8) integriert oder formschlüssig mit diesem verbunden ist.
9. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass an den Hauptbremszylinder (1) eine elektrohydraulische Steuer- bzw. Regeleinheit (28) eines Blockierschutzregelsystems (ABS) angeschlossen ist.
10. Bremsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung wenigstens ein elastisches Element (6, 7) enthält, das einen vom Relativweg zwischen erstem (2) und drittem Kolben (5) abhängigen „Federkraft“-Anteil der von der Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung aufgebrachten Kraft ausübt.

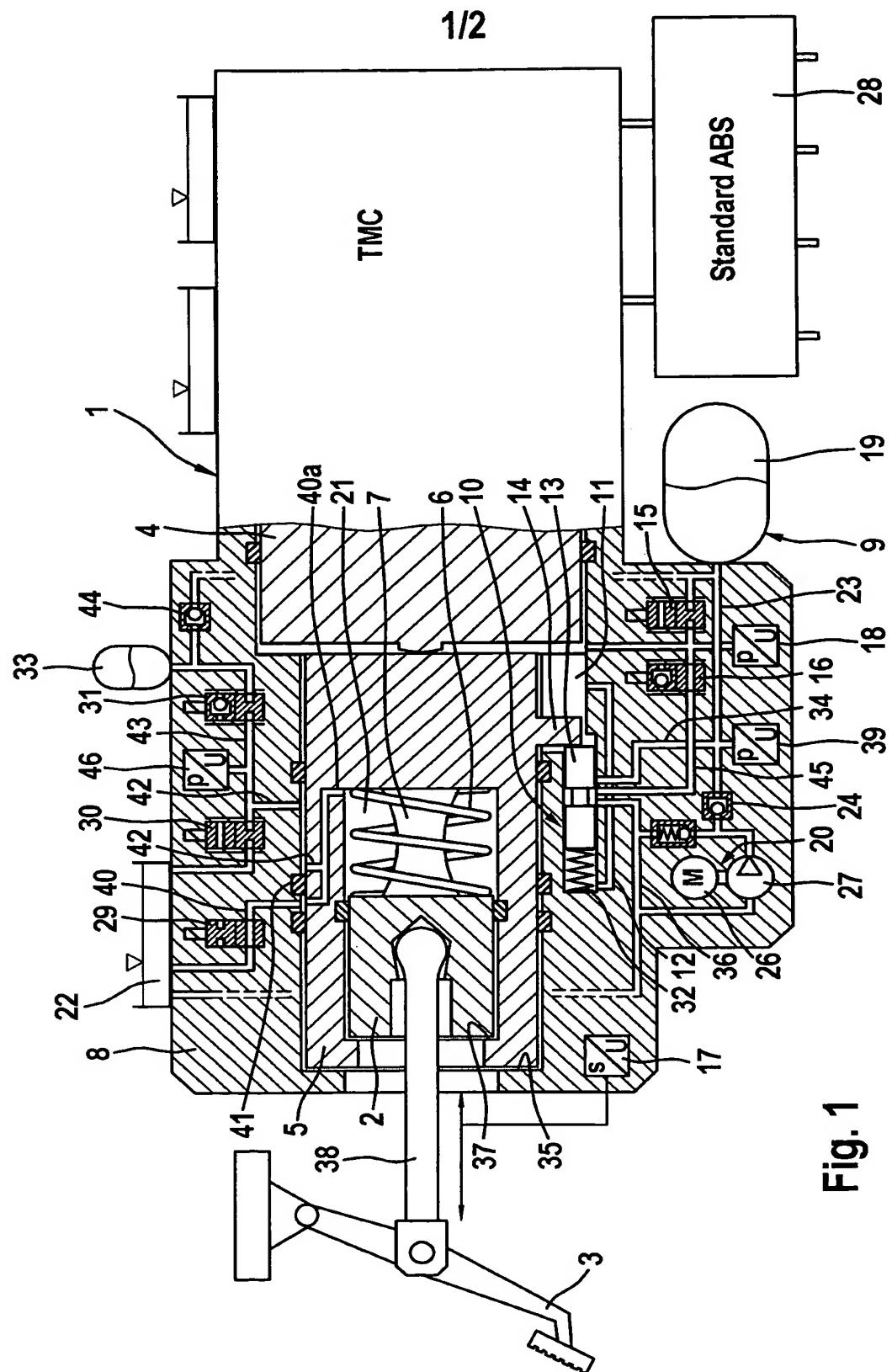
11. Bremsanlage nach Anspruch 12 dadurch **gekennzeichnet**, dass die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung wenigstens eine Dämpfungseinrichtung enthält, die eine von der Relativgeschwindigkeit zwischen erstem (2) und drittem Kolben (5) abhängigen „Dämpfungskraft“-Anteil der von der Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung aufgebrachten Kraft ausübt.
12. Bremsanlage nach Anspruch 12 oder 13 dadurch **gekennzeichnet**, dass die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung (6,7) wenigstens eine der Komponenten «Stahlfeder, Elastomerkörper und Reibverbindung» enthält, die die von der Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung aufgebrachte Kraft ausüben.
13. Bremsanlage nach Anspruch 14 dadurch **gekennzeichnet**, dass jede der Komponenten, die die von der Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung aufgebrachte Kraft ausüben, entweder außerhalb („trocken“) oder innerhalb („nass“) der hydraulischen Kammer (21) angeordnet ist.
14. Bremsanlage nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 13 dadurch **gekennzeichnet**, dass das von der vorgegebenen Bremspedalcharakteristik abweichende Pedalverhalten elektronisch gesteuerte Pedalvibrationen einschließt.

15. Bremsanlage nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 13 dadurch **gekennzeichnet**, dass das von der vorgegebenen Bremspedalcharakteristik abweichende Pedalverhalten ein elektronisch gesteuertes temporäres Zurückdrücken des Bremspedals einschließt.

**Elektrohydraulische Bremsanlage für Kraftfahrzeuge****Zusammenfassung**

Die Erfindung betrifft eine Bremsanlage, die in drei Betriebsarten betrieben werden kann, einer muskelkraftbetriebenen, unverstärkten Betriebsart, einer Hydraulikverstärker-Betriebsart und einer elektronisch geregelten Betriebsart, wobei die Bremsanlage einen Hauptzylinder (1) aufweist, einen ersten Kolben (2), der mit einem Bremspedal (3) gekoppelt ist, einen zweiten Kolben (4), der den Hauptzylinder (1) betätigt und einen dritten Kolben (5), der vom ersten Kolben (2) betätigbar ist, wobei zwischen dem ersten und dem dritten Kolben (5) mindestens ein elastisches Element (6,7) vorgesehen ist und alle drei Kolben (2,4,5) in einem Gehäuse (8) angeordnet sind. Weiterhin sind eine hydraulische Druckquelle (9) vorgesehen und eine Ventileinrichtung (10) zum Reduzieren des Drucks der Druckquelle (9) auf einen Druckwert, der in einen Zwischenraum (11) eingespeist wird, durch den der zweite Kolben (4) und der dritte Kolben (5) derart voneinander getrennt sind, dass der dritte Kolben (5) durch den auf den zweiten Kolben (4) einwirkenden Druck in der Beaufschlagungsrichtung des zweiten Kolbens (4) entgegengesetzten Richtung beaufschlagt wird. Erfindungsgemäß ist eine Einrichtung (29 - 31, 45) vorgesehen, die durch elektromagnetventilgesteuerte Änderung des Druckmittelvolumens in der hydraulischen Kammer (21) ein von der durch die Bremspedalcharakteristiksimulationseinrichtung vorgegebenen Bremspedalcharakteristik abweichendes Pedalverhalten ermöglicht.

(Fig. 1)



2/2

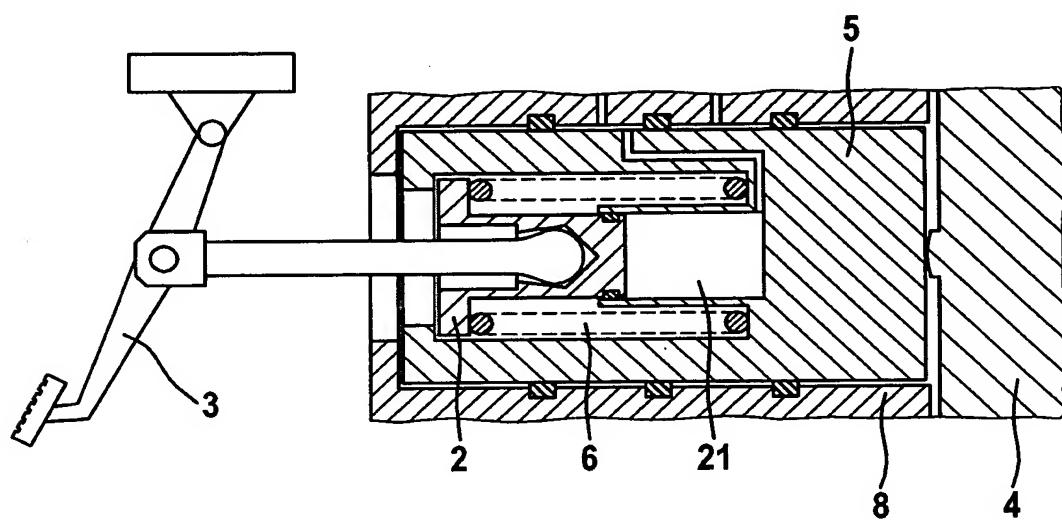


Fig. 2